

南海——我国深海研究的突破口

汪品先

(同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 近两年来, 海内外和海峡两岸的中国科学家围绕深海研究进行反复研讨, 一致认为南海是我国深海研究的首选, 并初步形成了“南海深部计划”的研究方案, 提出以“构建边缘海的生命史”为主题, 从洋壳深海盆的演化、深海沉积、生物地球化学过程三方面开展研究的建议方案。他们建议: 利用现代技术重新测定南海磁异常条带, 争取钻探大洋壳, 系统研究火山链; 观测现代深部海流和海底沉积过程, 从深海沉积中提取边缘海盆演化的信息; 认识海底溢出流体与井下流体的分布与影响, 揭示微生物在深海碳循环中的作用。争取在科学和技术全国性合作的基础上, 在南海实现我国深海研究的突破。

关键词: 南海; “南海深部计划”; 大洋壳; 边缘海; 深海沉积; 深海碳循环; 全国性合作

中图分类号: P736 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5470(2009)03-0001-04

Toward scientific breakthrough in the South China Sea

WANG Pin-xian

(State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Over the last two years, Chinese scientists from the both sides of the Taiwan Strait and from overseas, met several times to discuss the direction of deep-sea research in China. All agreed that the South China Sea should be the first priority, and a preliminary sketch of research program of “The South China Sea Deep” was drafted. The overarching goal of the proposed program is to unveil “the life of a marginal sea”, from three major perspectives: (1) evolution of the oceanic crust in the deep basin, which will be revealed by validating the magnetic anomalies in the South China Sea using new techniques, implementing deep-water drilling of the oceanic crust, and systematically investigating the volcanic mountain chains in the basin; (2) deep-sea sedimentation, including observation of the modern deep-water currents and benthic sedimentation, and reconstruction of sediment response to the evolution of the marginal basin; and (3) biogeochemical processes to be approached by exploring the dynamics and consequences of subsurface fluid circulation, and by evaluating the microbial contribution to the deep-sea carbon cycling. Research breakthroughs are expected in the South China Sea on the basis of nation-wide cooperation with a combined effort by the scientific and engineering communities.

Key words: South China Sea; “The South China Sea Deep”; oceanic crust; marginal sea; deep-sea sedimentation; deep-sea carbon cycling; nation-wide cooperation

1 我国深海研究的首选

当前的中国, 正在经历着走向海洋的历史性转折。从郑和下西洋之后, 600年来第一次把海洋提

到国策的层面, 第一次提出要走向深海大洋。科技投入的增加和海洋高新技术的发展, 为深海研究提供了前所未有的机遇, 同时也给学术界提出了紧迫的问题: 到哪里去发展我国的深海科学? 我国深海科学突破口会在哪里?

南海面积 350 万 km², 最大水深 5 500 多米,

收稿日期: 2009-04-15; **修订日期:** 2009-04-16。卢冰编辑

作者简介: 作者简介: 汪品先(1936—), 江苏省苏州市人, 中国科学院院士, 主要从事海洋地质学研究。Email: pxwang@online.sh.cn; pxwang@tongji.edu.cn

是我国管辖海域中主要的深海区,也是我国深海资源勘探和科学研究积累最为丰富的海域。10年前,南海大洋钻探的成功,使南海成为国际深海古环境研究的中心之一;近年来,南海北部深水油气和天然气水合物的发现,又使南海成为深海能源勘探的热点。系统开展南海的深海研究,已经是弦上之箭。同时,南海又是全球低纬区、也是西太平洋最大的边缘海,具有深海研究的一系列优越性。由于边缘海规模小、年龄新,在南海研究海底扩张的物理机制,其条件比大西洋优越;由于太平洋洋底沉积记录保存不佳,在南海研究海洋历史,能够弥补西太平洋的不足。因此南海为我国深海研究争取突破性成果,提供了最佳前景。

随着改革开放的成功,我国的海洋事业早已“冲出亚洲,走向世界”,故而必须考虑在世界大洋、尤其是国际海底的研究重点和科学战略。然而无论从经济发展和国家权益,或者从科研突破的前景出发,南海至少是当前我国深海研究的首选。近两年来,我国科学界,包括海内外和海峡两岸的科学家和产业部门的业务领导在内,多次聚会研讨“南海深部计划”的科学目标和技术路线,一致强调设立南海深部科学大型计划的必要性,相信南海深部大型计划的实施,将是中国海洋科学由浅海为主向深海拓展的转折。讨论认为,“南海深部计划”可以“构建边缘海的生命史”为主题,以洋壳深海盆的演化作为“骨架”,以深海沉积和生物地球化学过程分别作为“肉”和“血”,从这三个大方面争取南海研究的突破性成果。以下对这项集体讨论的成果,就作者的理解作一简短报道。

2 重新探测深海大洋壳

迄今为止,南海洋盆扩张的再造几乎全部依据磁异常条带,而所用主要资料来自30年前美国博士论文基础上发表的成果^[1,2]。虽然代表了当时的最高水平,但是由于缺乏日变资料,又受测量仪器和定位精度的限制,结果相当模糊,在西南海盆尤盛。后来虽经法国^[3]、德国^[4]和我台湾学者^[5]等多种补充、修改,20世纪70年代测得的基本格局至今未变,南海构造研究30年来缺乏突破性进展,因此也不奇怪。1999年南海大洋钻探取得了3300万年来的沉积记录,应当涵盖了传统认识上的扩张历史,但是地层记录中只有2500万年前后、被认为“扩张轴跳跃”的重大构造事件,而对扩张的始末本身缺乏明显反映^[6,7],这次“扩张轴跳跃”是否就是印支沿红河断裂带的挤出,也待确证。因

此,利用现代技术重新测定南海磁异常条带的任务,迫在眉睫:使用深拖或者用水下机器人搭载磁力仪的方法贴近海底作近底测量,精度可以提高两个数量级。当然,南海扩张的再认识必须结合洋壳的地球化学研究。除拖网或浅钻采集洋壳的岩石外,更重要的是实现南海深海盆的大洋钻探。目前我国已提出“南海张裂及其对晚中生代以来东南亚构造的影响”的综合大洋钻探初步建议书,提出在4个站位钻探洋壳。

南海扩张的终结,普遍认为与澳洲板块的碰撞相关,但是缺乏对终结过程的研究。重要的特征是沿残余中脊发育的火山链,可能是扩张结束时剩余岩浆活动的产物^[8]。需要对火山链开展系统调查研究,研究不同方向、不同位置火山链的形成原因、机制和时间,了解这类岩浆活动何时停止,是否在现代海底还有这类活动的踪迹。扩张结束后的重要过程是菲律宾海板块的旋转和南海洋壳的向东俯冲,而深海火山在俯冲过程中的阻挡,很可能成为地震能量积聚的机制。同时,扩张后发育的断层也可能与火山活动有关。因此,南海扩张终结时和终结后的岩浆活动,是南海深部的又一关键科学问题。

3 解读边缘海的生命史

作为低纬边缘海,南海的次远洋(hemi-pelagic)沉积不仅是本海盆演变历史的见证,又是全球最大的大陆与大洋,即亚洲和太平洋之间海陆相互作用的见证。近20年来南海深部沉积学和古海洋学的研究,已经取得了近3000万年来海盆发育过程中水文与沉积响应的初步认识。比如在约2500万年前南海沉积格局发生巨变,而中新世晚期东沙和南沙海区一样以碳酸盐沉积为主;根据南海扩张以来的沉积量统计,发现渐新世陆源沉积的速率比更新世还高^[9]。进一步的深入研究,要求从源区地质和深海沉积学入手,验证构造演化与气候变迁的历史。建议通过现代南海集水盆地“从源到汇”的研究,得出不同流域碎屑物的矿物与同位素标志^[10];通过海盆范围的沉积回剥,求取南海沉积格局的时空变化,并以此检验亚洲有关河道流系改组和南海海盆构造发育的假说;通过钻孔资料 and 高质量地震剖面的比较,探索南海深水沉积物搬运机制和深海储层的形成机理;通过深海沉积的古海洋学分析,得出季风、ENSO以及暖池演变的历史。值得注意的是大洋钻探发现南海北部在扩张前已有深海沉积,近年来在油气勘探中又多处发现侏罗纪到始新

世海相地层，因此有必要从前渐新世的地层入手，探索古南海以及特提斯与太平洋的连接，澄清对于“古南海”的认识，揭示边缘海出现前太平洋与亚洲的相互作用^[11]。

应当承认，我们对于南海底层流和深部过程的认识，至今还是一团漆黑；我国的深海沉积学，还处在借鉴国外模式、袭用前人认识的阶段。为在南海取得突破性成果，需要从调查现代深部水层入手，认识太平洋水进入南海后的走向与变化。可以通过锚系或海底观测系统，进行深部海流的连续观测；利用地震剖面，开展“地球物理海洋学”调查，将实测剖面从点延伸到面；通过水柱采样，测定深部海水的年龄和同位素等物化特征；通过海底观测，调查底层海流在沉积搬运中的作用；通过 ϵNd 、 $\delta^{13}\text{C}$ 和底栖化石等分析，探索深层海流的演变历史；进一步根据南海深层水的标志及海盆开放的程度，得出西太平洋水体演化的证据。

多年来我国的南沙调查，积累了丰富的资料；南海珊瑚礁的分析，取得了高分辨率的古气候信息（如文献 [12]）。现在需要将南沙作为深海区的碳酸盐台地，效法巴哈马滩的研究历程，实施南沙和西沙穿透碳酸盐体的深井钻探，将岛礁钻孔与岛礁区深海钻孔相结合，采用新一代的分析技术，研究碳酸盐台地发育史与海盆演化的关系，研究珊瑚礁生长、破坏与南海碳循环的关系，研究环境变迁在珊瑚礁中的纪录。世界碳酸盐沉积学研究，历来奉巴哈马碳酸盐为圭臬，而不顾其地理条件的局限性；南沙的研究应当建立起新的沉积模型，同时从碳酸盐沉积的角度揭示边缘海的生命史。

4 探索深海底部碳循环

依靠深海沉积再造边缘海生命史，只能建立在认识现代深部过程的基础之上。通过海底的水文和生物地球化学过程研究深部碳循环，是“南海深部计划”中现代过程研究的重点。

近年来的研究表明世界海底都是“漏”的，有各种流体从海底溢出，包括热液、冷泉、淡水、油气溢出口和泥火山活动；它们的来源是地层里的流体，所谓“海底下的海洋”^[13]。为此，首先要从海底水文观测入手，了解海底溢出流体与井下流体的分布与影响。包括采用物理和化学的方法调查来自海底的流体，采用海底观测和井塞(CORK)技术检测海底下的流体活动及其中的微生物。根据国外在流体溢出口发现特殊生物群(包括深海珊瑚)与大量微生物活动的经验，首先可以从冷泉入手，展开相

应生物学与地球化学的调查研究。

目前的海洋碳循环模型，深海的作用只考虑无机的碳酸盐，而最近海洋微生物研究的进展，突显出深海有机碳的重要性。海水的有机碳，90%属于溶解有机碳(DOC)；海洋的生物量，90%属于微生物^[14]。不同于海洋顶层的真核类浮游生物，原核类的微生物在深海同样分布；而且海底以下的原核生物，有人估计占地球上生物量的30%^[15]。最近发现，病毒能杀死海底和海底以下80%的单细胞生物，析出巨量有机碳，因而是海洋碳循环研究中的重大漏洞^[16]。南海以其有限的范围和丰富的深海沉积，是研究深部微生物并纳入碳循环的理想海盆。为此，要从分析水柱到沉积的微生物和溶解有机碳入手，重新认识南海碳循环，包括对不同深度水体中微生物功能类群的动态观测、对微生物生态过程的现场实验、对溶解有机碳的分类、定量和测年，对经典生物泵(如硅藻和颗石藻比值)和“微生物碳泵”(包括“非沉降泵”等^[17])的研究，分析深海沉积中指示不同生物的脂类标志化合物，探讨不同水团的微生物海洋学特征，从新的视角揭示南海碳循环的过程与机制，建立南海碳循环耦合模型、对南海的碳封存能力及其动态变化做出评估。

海底微生物中，古菌及相关细菌与天然气水合物和油气的生成直接相关。由于深海沉积中保存着丰富的古菌脂类标志化合物及完整的生物体，而“食用”甲烷的古菌 $\delta^{13}\text{C}$ 又明显偏轻，可以通过沉积物地球化学分析追踪古菌的丰度变化、甲烷析出以及厌氧氧化的事件，从而揭示南海海底甲烷的生成、氧化及演变史，以及南海作为边缘海在生物地球化学循环上的特色。

5 迎接深海研究新时期

以上描述的南海深部研究计划，是一项前沿科学与先进技术相结合的重大举措，也是中国海域第一次多学科的大型研究计划，其中不仅包括调查航次、而且有待深海新技术(如观测网站)的投入，预计需要8—10年才能完成。由于计划的规模较大，必须在国家层面的组织、协调下，作为国家深海研究计划的组成部分，与产业部门相应计划衔接，通过多方面合作的形式加以实施，其中包括大陆与港、台的合作，与国际计划(如IODP，综合大洋钻探计划)的衔接，以及南海区域性的国际合作。

南海所在的西太平洋暖池，是三大大气环流的出发点，属于地球表面能量流的中心；南海所在的

东南亚海区, 是大洋陆源碎屑物的最大源区, 属于地球表面的物流中心; 南海所在的“东印度三角”, 海、陆生物群的多样性全球最高, 属于地球表面基因流的中心^[18]。“南海深部计划”的实施, 将是一个边缘海生命史完整的解剖。西太平洋的大型边缘海中, 日本海的研究程度虽高, 但由于地处高纬、沉积保存欠佳, 在古海洋学历史再造中具有困难。因此西太平洋环境演变高分辨率研究的任务, 历史地落在南海身上。

当今的中国, 正在进入发展海洋科技的高潮期, 而作为国际深海研究核心计划的“综合大洋钻探(IODP) 计划”, 也正在筹备 2013 年之后的阶段。相信南海深海研究计划的实施, 将促进我国进入进军深海大洋、投入国际竞争的新阶段。

参考文献:

- [1] TAYLOR B, HAYES D E. The tectonic evolution of the South China Sea Basin[J] //HAYES D E. The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands; Geophysical Monograph. AGU, 1980, 23: 89-104.
- [2] TAYLOR B, HAYES D E. Origin and history of the South China Basin[J] //HAYES D E. The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, Part 2; Geophysical Monograph. AGU, 1983, 27: 23-56.
- [3] BRIAIS A, PATRIAT P, TAPPONNIER P. Update interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea; Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia[J]. J Geophys Res, 1993, 98 (B4): 6299-6328.
- [4] BARCKHAUSEN U, ROESER H A. Seafloor spreading anomalies in the South China Sea revisited[J] //CLIFT P, WANG P, KUHN W, et al. Continent-Ocean Interactions within East Asian Marginal Seas; Geophysical Monograph. AGU, 2004, 149: 121-125.
- [5] HSU S K, YEH Y C, DOOW B, et al. New bathymetry and magnetic lineations identifications in the northernmost South China Sea and their tectonic implications[J]. Mar Geophys Res, 2004, 25: 29-44.
- [6] WANG P, PRELL W L, BLUM P. Proc. ODP, Init. Repts[R/CD]. Ocean Drilling Program, Texas A & M University, College Station TX 77845-9547, USA, 2000, 184: 1-77
- [7] LI Q, WANG P, ZHAO Q, et al. A 33Ma lithostratigraphic record of tectonic and paleoceanographic evolution of the South China Sea[J]. Mar Geol, 2006, 230: 217-235.
- [8] YAN P, WANG Y, LIU H. Post-spreading transpressive faults in the South China Sea Basin[J]. Tectonophysics, 2008, 450: 70-78.
- [9] WANG P X, LI Q Y. The South China Sea: Paleoceanography and Sedimentology[M]. Springer, 2009: 505.
- [10] LIU Z, TUO S, COLIN C, et al. Detrital fine-grained sediment contribution from Taiwan to the northern South China Sea and its relation to regional ocean circulation[J]. Mar Geol, 2008, 255: 149-155.
- [11] 周蒂, 陈汉宗, 孙珍, 等. 南海中生代三期海盆及其与特提斯和古太平洋的关系[J]. 热带海洋学报, 2004(2): 16-25.
- [12] YU K F, ZHAO J X, WANG P X, et al. High-precision TIMS U-series and AMS ¹⁴C dating of a coral reef lagoon sediment core from southern South China Sea[J]. Quat Sci Rev, 2006, 25: 2420-2430.
- [13] IODP 科学规划委员会. IODP 初始科学计划 2003-2013 [M]. 同济大学出版社, 2003: 96.
- [14] SUTTLE C A. Marine viruses-major players in the global ecosystem[J]. Nature Reviews Microbiology, 2007, 5(10): 801-812.
- [15] WHITMAN W B, COLEMAN D C, WIEBE W J. Prokaryotes: The unseen majority[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1998, 95: 6578-6583.
- [16] DANOVARO R, DELL'ANNO A, CORINALDESI C, et al. Major viral impact on the functioning of benthic deep-sea ecosystems[J]. Nature, 2008, 454: 1084-1087.
- [17] JIAO N, ZHANG C, CHEN F, et al. Frontiers and technological advances in microbial processes and carbon cycling in the ocean[M] //MERTENS L P. Biological Oceanography Research Trends. Nova Science Publishers, 2008: 217-267.
- [18] WANG P. Cenozoic deformation and the history of sea-land interactions in Asia[J] //CLIFT P, WANG P, KUHN W, et al. Continent-Ocean Interactions in the East Asian Marginal Seas; Geophysical Monograph. AGU, 2004, 149: 1-22.